

Aplicativo para la clasificación de áreas explosivas en minas subterráneas

Jorge Mario Gaitán Pico, Laura Marcela León Marín

Trabajo de Grado para Optar el título de  
Ingeniero Electricista

Director

Oscar Arnulfo Quiroga

Doctor en Ciencias con Énfasis en Ingeniería Eléctrica

Codirector

Jesús Gualdrón Flórez

Candidato a Magíster en Evaluación y Gerencia de Proyectos

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Ingenierías Eléctrica Electrónica y de Telecomunicaciones E3T

Ingeniería Eléctrica

2020

### **Dedicatoria**

En estas líneas quiero agradecer a todas las personas que hicieron posible esta investigación y que de alguna manera estuvieron conmigo en los momentos difíciles, alegres, y tristes. En especial al profesor Oscar A. Quiroga Q. por su experiencia y colaboración en este trabajo de grado.

A mis padres por todo su amor, comprensión y apoyo, pero sobre todo gracias infinitas por la paciencia que me han tenido. No tengo palabras para agradecerles las incontables veces que me brindaron su apoyo en todas las decisiones que he tomado a lo largo de mi vida, unas buenas, otras malas, otras locas. Gracias por darme la libertad de desenvolverme como ser humano.

A mis amigos. Con todos los que compartí dentro y fuera de las aulas. Aquellos que se convierten en amigos de vida y aquellos que serán mis colegas, gracias por todo su apoyo y diversión. En especial a la compañera de trabajo de grado Laura Marcela, quien con su paciencia y determinación logramos sacar adelante este proyecto.

No puedo dejar de agradecerte especialmente a ti Anauribeth, mi compañera fiel de Universidad y ahora de corazón y vida, quien me apoyo y animó en los momentos más difíciles de mi carrera.

***Jorge.***

### **Dedicatoria**

Quiero dar gracias al padre celestial, por permitirme cumplir este importante reto el cual me abre caminos a nuevas metas y oportunidades, que de seguir de la mano de él cosecharé más triunfos personales y profesionales.

Dedico este trabajo de grado a mis padres Álvaro León e Hilda Marín quienes con su esfuerzo y dedicación me han brindado la oportunidad y el apoyo para culminar esta etapa de mis estudios, agradecida por su confianza, su amor incondicional y por formar en mí, la persona que soy.

A mis hermanos que son mi perfecto complemento, mi hermano Juan Carlos por ser mi polo a tierra, mi mayor admiración e inspiración, a mi hermana Luz Helena por motivarme siempre a soñar con lo mejor y hacerme creer que todo es posible.

A mis sobrinitas Paula e Issabela quienes hacen parte de mi motivación para ser mejor cada día y brindarles mi ejemplo y mi apoyo absoluto. A mi tía Patricia quien siempre descargó su confianza en mí y me apoyó de manera incondicional.

A las personas que hicieron parte de mi vida universitaria y me brindaron su maravillosa amistad en especial a Tatiana Melissa Nieves y a Jesús Emilio Torres, por acompañarme en este proceso de formación y brindarme su apoyo y su amistad incondicional.

***Laura.***

## **Agradecimientos**

Los autores del proyecto expresan sus agradecimientos a:

A Dios por permitirnos cumplir nuestro sueño y darnos la fortaleza para superar cada obstáculo presentado en este proceso de formación.

A nuestros padres por su apoyo, esfuerzo y compañía incondicional.

A la Universidad Industrial de Santander por permitirnos pertenecer a tan prestigiosa institución educativa.

A la Escuela de Ingeniería Eléctrica Electrónica y de Telecomunicaciones, por darnos una excelente formación académica.

A nuestro director de proyecto de grado Dr. Oscar Arnulfo Quiroga por ser nuestro mentor y brindarnos su orientación y apoyo en el desarrollo de este trabajo de grado.

A todos los profesores que nos compartieron su conocimiento a lo largo de la carrera.

A todas las personas que nos brindaron su apoyo, su comprensión y cariño en estos años de formación.

**Tabla de Contenido**

	<b>Pág.</b>
Introducción	13
1. Objetivos	16
1.1 Objetivo General	16
1.2 Objetivos Específicos	16
2. Minería Subterránea De Carbón	17
2.1 Gas Grisú (Metano)	18
2.1.1 Lugares y concentraciones máximas permitidas de Metano	19
2.2 Polvo de Carbon	20
2.3 Actividades y Operaciones Unitarias de la Explotación Subterránea	20
2.3.1 Preparación	20
2.3.2 Sostenimiento	21
2.3.3 Arranque	22
2.3.4 Cargue	23
2.3.5 Transporte	25
2.3.6 Descargue	26
3. Principales estándares usados para la clasificación de áreas explosivas en minas subterráneas	27
3.1 Estándar Estadounidense	29
3.1.1 Normativa MSHA	29
3.2 Estándar Europeo	30

3.2.1 Grupos	31
3.2.2 Categorías	32
3.2.3 Niveles de protección del material (EPL)	33
3.2.4 Modo de protección para materiales eléctricos	34
3.2.5 Clases de temperaturas	40
3.2.6 Grupos de elementos explosivos	41
3.2.7 Marcación ATEX (Ejemplo)	43
3.2.8 ATEX Directiva 99/ 92/ CE	44
3.2.9 Clasificación de las áreas de riesgo	44
4. Reconocimiento de los elementos característicos que permiten la clasificación y delimitación de las áreas existentes en una mina subterránea.	46
4.1 Determinación de áreas por medio de las operaciones unitarias	46
4.1.1 Área “Preparación”	47
4.1.2 Área “Sostenimiento”	47
4.1.3 Área “Arranque”	48
4.1.4 Área “Cargue”	48
4.1.5 Área “Transporte”	48
4.1.6 Área “Descargue”	49
5. Aplicativo en excel para la clasificación y delimitación de áreas en una mina a partir de los elementos característicos presentes en cada zona (minappex).	50
5.1 Diseño y programación del aplicativo (MinAppEx)	51
5.1.1 Elaboración de la base de datos	51
5.1.2 Planteamiento de la estructura	51

5.1.3 Detalles de la interfaz	52
5.2 Guía rápida de MinAppEx	52
6. Conclusiones	62
Referencias Bibliográficas	64

**Lista de Tablas**

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Límites de Concentración Permisibles de Metano. ....	19
Tabla 2. Niveles de Protección del Material (EPL) .....	33
Tabla 3. Modo de Protección para Materiales Eléctricos de Atmósferas con Gases.....	36
Tabla 4. Modo de Protección para Materiales Eléctricos en Atmósferas con Polvo.....	38
Tabla 5. Clases de temperatura según la directiva ATEX .....	40
Tabla 6. Grupos de elementos explosivos categorías (I y II) ATEX.....	41
Tabla 7. Clasificación de Zonas ATEX en la Minería Subterránea.....	49

**Lista de Figuras**

	<b>Pág.</b>
Figura 1. <i>Esquema Clásico de explotación subterránea (CAM,2007)</i>	17
Figura 2. <i>Máquina de movimiento de tierra-excavadora</i>	21
Figura 3. <i>Estructura de sostenimiento (Metálicas)</i>	22
Figura 4. <i>Equipo de perforación-Taladro</i>	23
Figura 5. <i>Maquina Cargo-Transportadora</i>	24
Figura 6. <i>Transporte de mineral bajo superficie</i>	26
Figura 7. <i>Almacenamiento de carbón en pila</i>	27
Figura 8. <i>Esquema de organizaciones globales normativos</i>	28
Figura 9. <i>Emblema oficial MSHA</i>	29
Figura 10. <i>Emblema ATEX (Equipos)</i>	31
Figura 11. <i>Marcación ATEX (Ejemplo)</i>	43
Figura 12. <i>Emblema ATEX (Zonas)</i>	44
Figura 13. <i>Logo del aplicativo MinAppEx</i>	50
Figura 14. <i>Portada MinAppEx</i>	53
Figura 15. <i>Escenarios de aplicación</i>	53
Figura 16. <i>Tipo de Normativa</i>	54
Figura 17. <i>Datos de placa ATEX</i>	55
Figura 18. <i>Resultados placa ATEX</i>	55
Figura 19. <i>Normativa MSHA</i>	56
Figura 20. <i>Resultados de placa MSHA</i>	58

Figura 21. <i>Áreas predeterminadas</i>	59
Figura 22. <i>Rótulo de placa ATEX</i>	60
Figura 23. <i>Certificación MSHA para área clasificada</i>	60
Figura 24. <i>Botones de ayuda</i>	61
Figura 25. <i>Botón de “ATRÁS” y “REINICIAR”.</i>	62

## Resumen

**Título:** Aplicativo para la clasificación de áreas explosivas en minas subterráneas\*

**Autor:** Jorge Mario Gaitán Pico, Laura Marcela León Marín \*\*

**Palabras Clave:** Minería, Áreas explosivas, Instalación Eléctrica, Reglamento.

### Descripción

La actividad minera colombiana, en especial la minería de carbón (grisú) tiene grandes falencias de seguridad y persiste la informalidad de su desarrollo, con alto desconocimiento de la clasificación de áreas explosivas. Bajo estas condiciones la reglamentación colombiana tiene debilidades y sus controles son insuficientes, por lo tanto, es posible encontrar gran variedad de actividad minera que no cumple los requisitos de funcionamiento para una determinada área explosiva.

El presente trabajo de grado tiene como objetivo desarrollar un aplicativo, que facilite la labor de clasificación y delimitación de las diferentes áreas que se pueden distinguir en una mina subterránea, además brinde información sobre las características que deben tener los materiales, aparatos y equipos de uso en estas. Para construir el aplicativo se presento la necesidad de hacer uso de la normativa europea (ATEX) y americana (MSHA) debido que en el mercado se encuentra una gran variedad de equipos eléctricos bajo la certificación de estas normas.

El aplicativo recibe el nombre de MinAppEx, se desarrolló en (Excel) y contiene toda la documentación y normativa relevante recopilada como producto de este trabajo de grado, está comprendido por tres etapas fundamentales, la primera de ellas es la elaboración de la base de datos, seguido del planteamiento de la estructura y finalmente los detalles de la interfaz, donde se evidencia cada uno de los pasos que se llevaron a cabo para realizar la estructura general de la aplicación.

Las conclusiones del trabajo de grado están en relación a la ambigüedad encontrada con la normativa colombiana y la solución planteada a través del aplicativo MinAppEx ofreciendo la información adecuada y concreta de manera rápida y sencilla, donde se puede clasificar las áreas y conocer cierto conjunto de equipos primordiales para la actividad minera.

---

\* Trabajo de Grado

\*\*Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Eléctrica Electrónica y Telecomunicaciones. Director: Oscar Arnulfo Quiroga Quiroga, Doctor en Tecnología, Universitat De Girona. Codirector: Jesús Guadrón Flórez. Candidato a Magíster en Evaluación y Gerencia de Proyectos.

### Abstract

**Title:** Application for the classification of explosive areas in underground mines \*

**Author:** Jorge Mario Gaitán Pico, Laura Marcela León Marín \*\*

**Key Words:** Mining, Explosive areas, Electrical Installation, Regulation.

### Description

The Colombian mining activity, especially coal mining (firedamp) has major security shortcomings and the informality of its development persists, with high ignorance of the classification of explosive areas. Under these conditions, the Colombian regulation has weaknesses and its controls are insufficient, therefore, it is possible to find a great variety of mining activity that does not meet the performance requirements for a certain explosive area.

The objective of this paper is to develop an application that facilitates the work of classification and delimitation of the different areas that can be distinguished in an underground mine, in addition to this, provide information on the characteristics that materials, devices and equipment should have. To build the application, it was necessary to use the European (ATEX) and American (MSHA) regulations was due to there is a wide variety of electrical equipment on the market under the certification of these standards.

The application is called MinAppEx, it was developed in (Excel) and contains all the relevant documentation and regulations compiled as a product of this paper. It is comprised of three fundamental stages, the first, beings with the elaboration of the database, followed by the structure approach and finally the interface details. Where each of the steps that were carried out to make the general structure of the application is evidenced.

The conclusions of this paper are in relation to the ambiguity found in the Colombian regulations and the solution proposed through the MinAppEx application, offering adequate and specific information quickly and easily, where you can classify the areas and know a certain set of essential equipment for mining activity.

---

\* Degree Work

\*\* Faculty of Physicomechanical Engineering. School of Electrical Electronic Engineering and Telecommunications. Director: Oscar Arnulfo Quiroga Quiroga, Doctor of Technology, Universitat de Girona. Co-director: Jesús Gualdrón Flórez. Candidate for a Master's in Evaluation and Project Management.

## Introducción

Las condiciones geológicas y geográficas de Colombia hacen que su subsuelo sea rico en todo tipo de minerales e hidrocarburos con potencial de explotación económica. El desarrollo minero y la expansión energética hacen parte de los pactos transversales de crecimiento incluidos en el Plan Nacional de Desarrollo 2019-2022. Se considera que uno de los ejes centrales de la economía colombiana son las actividades de exploración y la explotación minera. Sin embargo, hay una ausencia de normatividad y las que existen son demasiado flexibles para llevar a cabo una correcta y adecuada instalación eléctrica dentro de la mina. Las instalaciones eléctricas en minas están tipificadas como especiales por el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas.

*Toda mina debe ser evaluada como una instalación especial y debe clasificarse las áreas de acuerdo a los componentes presentes, conforme lo establece el presente Anexo General y el cap. 5º de la NTC 2050. Se podrá exceptuar este requisito sólo si luego de hacer un minucioso estudio se demuestra que no existe ni existirá la presencia de gases, líquidos o polvos que puedan causar incendio o explosión (RETIE, 2013, p.179).*

Sin embargo, la Norma Técnica Colombiana (NTC 2050) especifica claramente que el capítulo 5 no es apto para minas subterráneas. “Fuera de cobertura. Este código no cubre: 2) Las instalaciones subterráneas en minas y la maquinaria móvil autopropulsada de minería de superficie y su cable eléctrico colgante” (NTC 2050, 1998, p.2).

Por lo anterior, se pretende desarrollar un aplicativo que facilite la labor de clasificación y delimitación de las diferentes áreas que se pueden distinguir en una mina subterránea y además

brinde información sobre las características que deben tener los materiales, aparatos y equipos de uso en estas. A su vez, complementa otras dos temáticas que se vienen desarrollando con otros trabajos de grado, que están orientadas a la especificación de las instalaciones eléctricas en minas, en media y baja tensión.

Como estudios previos a este tema, se encontró que en la Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones (E3T), ha efectuado un estudio relacionado con la clasificación de áreas peligrosas en minas. En este trabajo de grado, los estudiantes Herrera Sepúlveda y Villabona Suárez (2018) describen el proceso de clasificación que exige el RETIE. Sin embargo, esta clasificación es general para cualquier tipo de área explosiva (industria, laboratorio, etc.), y no tiene un enfoque profundo o especializado en el tema de minería. Es por esto, que aquí se recurre a la Normativa Europea *ATmosphères EXplosives* (ATEX) y a la Normativa Americana *Mine Safety and Health Administration* (MSHA), enfocadas exclusivamente en minería subterránea.

En este trabajo de grado se recopiló información relacionada a la minería subterránea con el fin de identificar áreas para su respectiva clasificación. Es útil emplear las operaciones unitarias de la minería como referencia para categorizar las zonas según la normativa. Lo anterior, debido a que los macizos rocosos no son iguales, luego no es posible encontrar dos minas idénticas, pero sí se cuenta con el mismo mecanismo de explotación. Una vez determinadas las áreas y su respectiva clasificación se implementa una aplicación en Excel, programa muy conocido en el ámbito laboral, con el fin de contribuir de manera responsable en el desarrollo de la minería y permitiendo una formación con menor riesgo de accidentabilidad y mayor vida útil para los equipos eléctricos.

Este documento se encuentra organizado en cuatro secciones, en la primera sección se recopila toda la información temática relacionada a las minas subterráneas de carbón, seguido de los principales estándares usados para la clasificación de áreas explosivas en las minas, luego se realiza un reconocimiento de los elementos característicos que permiten la clasificación y delimitación de las áreas existentes y finalmente la descripción del aplicativo en Excel para la clasificación y delimitación de áreas a partir de los elementos característicos presentes en cada zona.

## **1. Objetivos**

### **1.1 Objetivo General**

Desarrollar un aplicativo para la clasificación de áreas explosivas en minas.

### **1.2 Objetivos Específicos**

- Identificar los elementos característicos que permiten la clasificación y delimitación de las áreas existentes en una mina.

- Programar un aplicativo en Excel para la clasificación y delimitación de áreas en una mina a partir de los elementos característicos presentes en cada zona.

- Complementar el aplicativo programado con un módulo para la especificación de los elementos de la instalación eléctrica requeridos para el área identificada.



La minería subterránea debe establecer operaciones específicas y adecuadas en los frentes de trabajo tales como ventilación, alumbrado, drenaje entre otras, evitando que la generación de gases y polvos supere los límites permisibles. Para la recuperación del mineral se debe acudir a bases económicas y de seguridad en los frentes de producción con el objetivo de impedir hundimientos (subsidiencias) en la superficie. Es importante resaltar que el uso de explosivos es altamente restringido en este tipo de minería subterránea de carbón por condiciones de seguridad. (Ministerio de Minas y Energía-Ministerio del Medio Ambiente, 2002).

*Artículo 63. En las minas subterráneas de carbón se debe elaborar un análisis de riesgos para determinar e identificar las áreas propensas a desprendimientos instantáneos de gas Metano. El análisis de riesgo y el plan de prevención deben estar contenidos dentro del Sistema de Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo SG-SST y contar con la información establecida en el Reglamento (Ministerio de Minas y Energía, 2015, p.46).*

## **2.1 Gas Grisú (Metano)**

El gas grisú, es determinado como uno de los componentes más importantes en la minería subterránea de carbón, compuesto en un 90% de gas Metano, lo que lo categoriza como un gas de alta peligrosidad, al que se le debe designar detallado control de presencia bajo las indicaciones de las normas con sus respectivos límites permisibles de presencialidad en el ambiente. A continuación, se presenta la definición precisa para el grisú establecida por el decreto 1886 del 2015.

**Grisú:** Mezcla de metano con aire en proporciones variables, cuyas características son gas incoloro, insípido, asfixiante, altamente combustible y explosivo, con un peso específico menor que el aire, lo cual hace que se acumule en las partes superiores de las labores mineras subterráneas; debido a esto, es necesario medirlo con el metanómetro o multidetector de gases en las partes más altas de las labores mineras subterráneas (Ministerio de Minas y Energía, 2015, p.13).

### 2.1.1 Lugares y concentraciones máximas permitidas de Metano

Según el Artículo 53 del Decreto 1886 (Ministerio de Minas y Energía, 2015) , Se estipulan los porcentajes de los límites permisibles de las concentraciones de metano aptos para laborar dentro de la mina según el desarrollo de la actividad minera como se estipula en la Tabla 1.

Tabla 1.

#### *Límites de Concentración Permisibles de Metano*

Sitio de la labor subterránea	Porcentaje (%) máximo permisible de Metano (CH <sub>4</sub> )	% LEL
En labores o frentes de explotación o avance.	1.0	20
En los retornos principales de aire.	1.0	20
En el retorno de aire de los tajos	1.5	30
En el retorno de aire de los frentes de preparación y desarrollo	1.5	30

Nota: Los límites de concentraciones para cada área se encuentran valores porcentuales (%).

LEL (Lower Explosion Level), Límite inferior de explosividad. Adaptado de: (Ministerio de Minas y Energía, 2015, p.47).

## **2.2 Polvo de Carbon**

El polvo de carbón es un material fino que se encuentra en la explotación de este mineral. Almacenado en las galerías y túneles, ubicado en techos, pisos y paredes. Generalmente presenta gran acumulación en los sitios de carga y descarga de carbón, convirtiendo estos lugares en sitios de mayor precaución. Los equipos que son diseñados y construidos para el uso en atmósferas con presencia de grisú, son también adecuados para uso en presencia de polvo de carbón.

## **2.3 Actividades y Operaciones Unitarias de la Explotación Subterránea**

Para todos los métodos de explotación minera existen actividades y operaciones unitarias propias de la minería subterránea descritas a continuación:

### **2.3.1 Preparación**

El proceso de preparación consiste en realizar el acceso al yacimiento y organizar el terreno con los métodos de explotación anteriormente mencionados dependiendo de las características de la mina, los accesos al yacimiento se pueden realizar mediante túneles, cruzadas horizontales, pozos o galerías inclinadas, pozos verticales, subniveles diagonales y tambores. En este proceso se realizan actividades de perforación, voladura, cargue, transporte, entibación entre otras. (Ministerio de Minas y Energía-Ministerio del Medio Ambiente, 2002)

Figura 1.

*Máquina de movimiento de tierra-excavadora*



Nota. ( Equipe ESSS, 2017 )

### **2.3.2 Sostenimiento**

El proceso de sostenimiento tiene como propósito suspender mediante estructuras o soportes de madera, mecánicos o hidráulicos el macizo rocoso evitando el derrumbe y bloqueo de las excavaciones realizadas en los anteriores procesos, estas labores sostenimiento deben garantizar la seguridad tanto de las personas como de los equipos, se debe implementar un programa de inspección, mantenimiento y control del plan de sostenimiento, el cual debe estar disponible en las instalaciones de la mina. (Unidad de Planeación Minero Energetica, 1998)

Figura 2.

*Estructura de sostenimiento (Metálicas)*

Nota (Guía control geotecnico mineria subterranea., 2020)

### **2.3.3 Arranque**

En el proceso de arranque se emplea la separación del material de interés y el material estéril por medio de métodos de barroteo, perforación y voladura, con máquinas cortadoras, este último no se utiliza en el país por los altos costos de inversión en la maquinaria, se opta por el método de barroteo, aunque su rendimiento es bajo resulta ser viable, este método consiste en la extracción del carbón de manera manual por medio de una pica o barreta, estas perforaciones se realizan aproximadamente distribuidas mediante la definición de un patrón establecido para cargar los explosivos con una secuencia predeterminada extrayendo con mayor facilidad el

mineral, es importante resaltar que en la extracción de este se debe evitar la contaminación del material estéril con el mineral de interés por efectos de la calidad del producto. (Ministerio de Minas y Energía-Ministerio del Medio Ambiente, 2002)

Figura 3.

*Equipo de perforación-Taladro*



Nota (Amstrong y & Menon)

### **2.3.4 Cargue**

En el proceso de cargue se realiza la recogida de la roca extraída del suelo para llevarla al medio de transporte que sacara el mineral del interior de la mina a la superficie, es importante

tener en cuenta que el proceso de cargue se realiza simultáneamente con el proceso arranque, la maquinaria más usada para este tipo de operaciones son las palas cargadoras o maquinas cargo-transportadoras, para el exterior y Scoop Tram o palas de bajo perfil para las subterráneas, en ocasiones la minería subterránea cuando el nivel de explotación se encuentra por encima del nivel de transporte, la carga se realiza por fuerza de gravedad y solo se dispone la máquina de transporte debajo del mineral. (Ministerio de Minas y Energía-Ministerio del Medio Ambiente, 2002).

Figura 4.

*Maquina Cargo-Transportadora*



Nota: (Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo, 2020 )

### **2.3.5 Transporte**

Para la movilización del material del yacimiento hacia la superficie se emplea el sistema de transporte, mediante procesos manuales como malacates, trenes, cintas transportadoras, tolvas, compuertas de madera o metálicas que descargan el material almacenado temporalmente dentro de la mina al medio de transporte por gravedad mediante alimentadores accionados por equipamiento mecánico. Para este proceso es importante tener en cuenta algunas recomendaciones, entre ellas es necesario verificar la protección de equipos eléctricos como motores de malacate, tambor del cable, ventiladores, cabezas motrices con el fin de mitigar riesgos de accidentes, realizar control en la vías de transporte tanto del material como del personal, las bandas transportadoras para minas de carbón deben ser antiestático y resistentes al fuego, finalmente también se recomienda la existencia de extintores en puntos claves como en los tambores de retorno de las bandas y las cabezas motrices. Los operadores de malacates y maquinas no deben abandonar su sitio de trabajo, antes de detener el motor, poner los frenos y quitar la llave de operación. (Ministerio de Minas y Energía, 2015).

Figura 5.

*Transporte de mineral bajo superficie*



Nota. (Leon & Comarcas , 2017 )

### **2.3.6 Descargue**

Finalmente se tiene el proceso de descargue donde se lleva el mineral a la superficie para almacenarse en tolvas acondicionadas que deben estar diseñadas de acuerdo con el tiempo de almacenamiento, la calidad del mineral y el volumen del material extraído, para ser cargado en medios de transporte de carga pesada que lo llevara a su destino final. Es importante tener en cuenta algunas medidas de seguridad como verificar que se cuente con la presencia de mallas en cada una de las tolvas para impedir caídas del personal, seguridad en las llaves de acceso de la tolva, supervisar cualquier proceso de atascamiento ya que no se debe pisar la carga que se

encuentra en tolvas, tanto los silos como las tolvas deben estar contruidos de material incombustible a pesar de que en estas áreas se prohíbe el uso de explosivos para los trabajos de des atascamiento. (Unidad de Planeación Minero Energetica, 1998).

Figura 6.

*Almacenamiento de carbón en pila*



Nota (maptek.com, 2018 )

### **3. Principales estándares usados para la clasificación de áreas explosivas en minas subterráneas**

Los estándares y las normativas desempeñan una función importante en estas instalaciones de fabricación peligrosas, ya que especifican el marco de trabajo de las condiciones que guían tanto a los fabricantes de equipos como a los operarios para garantizar la seguridad en la fabricación (Mettler-Toledo Ag, 2014, p.1).

Existen muchos estándares similares aplicados en todo el mundo, pero hasta el momento no se ha logrado estandarizar globalmente las diversas certificaciones para las zonas que contienen áreas explosivas, aunque en determinados países se aceptan certificaciones y aprobaciones internacionales, existen otros que solo disponen de aprobaciones propias y certificaciones locales. Particularmente en Colombia no se cuenta con normativa propia, para el desarrollo de la minería Subterránea con áreas explosivas y la que existe actualmente es insuficiente para el desarrollo de la misma, sin garantizar por completo la seguridad de equipos y personal de trabajo.

### Figura 7.

*Esquema de organizaciones globales normativas*



Los dos principales estándares globales sobre áreas explosivas están liderados por el estándar estadounidense (NFPA-70) y el estándar europeo (IEC) como se muestra en la Figura 7.

### 3.1 Estándar Estadounidense

En términos de la NFPA-70, el estándar estadounidense es el encargado de la clasificación de áreas explosivas, pero en su alcance no se contempla las instalaciones especiales como la minería subterránea dando la jurisdicción a la MSHA, entidad encargada de la minería en este país. “In the United States, mines are under the jurisdiction of the Mine Safety and Health Administration (MSHA) and outside of the scope of the NEC” (NEC 505, 2005,p.719).

#### 3.1.1 Normativa MSHA

Dadas las aclaraciones anteriores es importante resaltar que el Centro de Aprobación y Certificación de MSHA evalúa una amplia gama de equipos, para garantizar que cumplan con los estándares gubernamentales para un diseño y construcción seguros. Cabe aclarar que esta no cumple con la clasificación de zonas pero cuenta con un sello MSHA (ver Figura 8) en la placa del dispositivo que garantiza el uso en cualquier área de la mina subterránea de carbón. (MSHA, 2014).

Figura 8.

*Emblema oficial MSHA*



Nota. Code of Federal Regulations, Title 30, 2014

La agencia de administración de minas, seguridad y salud del departamento del trabajo de EE. UU, tiene como perfil ayudar a reducir lesiones, enfermedades y decesos del personal en la minería de carbón, empleando programas de capacitación con orientación técnica y educacional poniendo en vigencia las reglas de salud y seguridad en minas.

### **3.2 Estándar Europeo**

En el sistema europeo existe la norma IEC-Ex, un proceso utilizado para dar aprobación y certificación a los equipos usados en áreas explosivas, por medio del estudio de la presencia de gases, polvos o fibras para la clasificación de las áreas expuestas a crear atmósferas explosivas.

“El principal objetivo de la Comisión Electrotécnica Internacional (ICE) con la norma IEC-Ex es alcanzar una homogeneización global en los códigos que rigen el uso de aparatos eléctricos en zonas peligrosas” (IEC 60079-0, 2015).

Para el desarrollo de este trabajo grado se emplearon dos directivas, ATEX Directiva 94/9/CE enfocada en la certificación de equipos eléctricos para áreas explosivas y ATEX Directiva 99/92/CE para la clasificación áreas en las que pueden formarse atmósferas explosivas, orientando cada una de ellas en la actividad de minería subterránea.

### 3.2.1 ATEX Directiva 94/ 9/ CE

Figura 9.

*Emblema ATEX (Equipos)*



Nota. (Barmatec, 2016)

ATEX representa la abreviatura de Atmósferas Explosivas como se indica en la

Figura 9, tiene como propósito instaurar niveles de seguridad, aplicados en la fabricación y distribución de equipos y sistemas de protección empleados en áreas con atmosferas explosivas, mitigando los riesgos que presenta el uso de equipos eléctricos. Para esto la Directiva 94/9/CE (referente a equipos) define dos principales grupos divididos en cinco categorías que definen el nivel de protección necesarios para cada equipo eléctrico (ATEX 100, 1994).

### 3.2.1 Grupos

La primera clasificación está dada por los grupos, donde se clasifican Gases y Polvos, en grupo I, II, y III, la clasificación de los grupos está definida de la siguiente manera.

### ***3.2.1.1 Grupos de Gases.***

**Grupo I:** Material destinado a las minas de grisú. Este primer grupo abarca todo el tema relacionado a minería de carbón en presencia de material de gases.

**Grupo II:** Material destinado a lugares expuestos a atmósferas explosivas diferentes de las minas de grisú. Este grupo está relacionado a la minería superficial (cielo abierto) en presencia de material de gases.

### ***3.2.1.2 Grupos de Polvos.***

**Grupo III:** Material destinado a las minas de grisú. Este primer grupo abarca todo el tema relacionado a minería de carbón en presencia de material de polvos.

## **3.2.2 Categorías**

Las categorías están definidas por 1G, 2G y 3G para el grupo de gases los cuales están organizados de la siguiente forma:

**Categoría “1G”:** Áreas donde la atmósfera de gas explosivo está continuamente presente o presente para largos períodos de tiempo.

**Categoría “2G”:** Áreas donde la atmósfera de gas explosivo es probable que ocurra en funcionamiento normal o presente frecuentemente.

**Categoría “3G”:** Área donde la atmósfera de gas explosivo no es probable que ocurra y si lo hace, solo existirá por un corto período de tiempo.

Para el grupo de polvos se presenta las siguientes categorías definidas por números 1D, 2D y 3D

**Categoría “1D”:** Área donde hay polvo combustible presente continua o frecuentemente.

**Categoría “2D”:** Área donde hay nubes de polvo combustible y es probable que estén presentes durante la normalidad operación.

**Categoría “3D”:** Área donde se nublan las nubes de polvo combustible y puede ocurrir con poca frecuencia durante la normalidad de la operación.

### 3.2.3 Niveles de protección del material (EPL)

Este nivel de protección del material está establecido para cada una de las diferentes zonas o clasificaciones del área. En circunstancias normales, el efecto de estos niveles de protección será mantener la referencia normal entre zona/material, sin embargo, el riesgo es considerado particularmente grave, por consiguiente, el nivel EPL exigido por la zona puede ser aumentado. Cuando el riesgo es considerado pequeño o despreciable, el nivel de protección puede reducirse.

En la siguiente Tabla 2 se muestra el resumen y los códigos que identifican el nivel de protección.

Tabla 2.

#### *Niveles de Protección del Material (EPL)*

<b>Nivel de Protección del Material (EPL)</b>	<b>Zona normal de aplicación</b>	<b>Categoría de aplicación</b>
<b>Ga</b>	0 (1 y 2)	1G
<b>Gb</b>	1 (y 2)	2G

<b>Nivel de Protección del Material (EPL)</b>	<b>Zona normal de aplicación</b>	<b>Categoría de aplicación</b>
<b>Gc</b>	2	3G
<b>Da</b>	20 (21 y 22)	1D
<b>Db</b>	21 (y 22)	2D
<b>Dc</b>	22	3D
<b>Ma/Mb</b>	Minas	M1/M2

**Nota: G=gas, D=polvo, M=minas, Clasifican la zona normal de aplicación y la categoría de aplicación a la que pertenece cada nivel de protección del material. Adaptado de: (ASCO NEUMATICS TM, 2009).**

### **3.2.4 Modo de protección para materiales eléctricos**



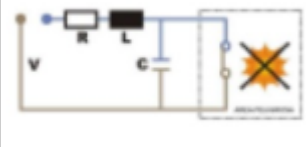
Existen modos de protección para los materiales eléctricos en áreas explosivas. La norma los clasifica por medio de letras para los grupos (gases, polvos). La siguiente

Tabla **3** muestra el modo de protección para materiales eléctricos en atmosferas de gases, así como la



Tabla **4** indica el modo de protección para materiales eléctricos en atmósferas con presencia de polvo:




**Tabla 3.**

*Modo de Protección para Materiales Eléctricos de Atmósferas con Gases*

<i>Modo de Protección para Materiales Eléctricos de Atmósferas con Gases</i>					
Símbolo Modo	Zonas de aplicación	Definición			Símbolo
		0	1	2	
<b>“d” Antideflagrante</b>	x x	Los componentes que pudieran inflamar una atmósfera explosiva son encerrados en una carcasa que resiste la presión desarrollada por una explosión interna de una mezcla explosiva, y que impide la transmisión de esta explosión hacia la atmósfera explosiva en donde se encuentra la carcasa.			
<b>“e” Seguridad Aumentada</b>	x x	Medidas para evitar, con un elevado coeficiente de seguridad, la posibilidad de temperaturas excesivas y la aparición de arcos o chispas en el interior y sobre la parte externa del material eléctrico que no se produce en funcionamiento normal.			
<b>“i” Seguridad Intrínseca</b>	ia ib ic	x x x	x x x	Circuito en el que ninguna chispa ni efecto térmico producido en las condiciones de prueba prescritas por la norma (funcionamiento	

*Modo de Protección para Materiales Eléctricos de Atmósferas con Gases*

		normal y caso de anomalía) es capaz de provocar la inflamación de una atmósfera explosiva dada.	
<b>“m”</b>	<b>Encapsulado</b>	<p>Modo de protección en la que aquellos componentes que pudieran causar la inflamación de una atmósfera explosiva a causa de chispas o recalentamientos son encerrados en un envoltorio de manera que esta atmósfera explosiva no pueda inflamarse.</p>	
<b>“n”</b>	<b>Simplificado</b>	<p>Modo de protección aplicado a un material eléctrico de manera que en funcionamiento normal y en ciertas condiciones anormales especificadas en la presente norma, no pueda inflamar un ambiente explosivo circundante.</p> <p>Hay 5 categorías de materiales:                      Sin producción de chispas (nA),                      producción de chispas (nC),                      revestimientos con respiración limitada (nR), energía limitada (nL) y recintos con sobrepresión interna simplificada (nP).</p>	

<i>Modo de Protección para Materiales Eléctricos de Atmósferas con Gases</i>					
“o”				Material eléctrico sumergido en	
<b>Inmersión En Aceite</b>	x	x		aceite.	
“p”	x	x		Sobrepresión interna, mantenida con relación a la atmósfera, con un gas neutro de protección.	
<b>Sobrepresión Interna</b>					
“q”	x	x		Carcasa rellena de un material pulverulento.	
<b>Relleno Pulverulento</b>					

**Nota: Se muestra la clasificación del modo de protección para materiales eléctricos en atmósferas con gases, determinando el símbolo representativo, las zonas de aplicación, su respectiva definición y simbología. Adaptado de: (ASCO NEUMATICS TM, 2009).**

Tabla 4.

*Modo de Protección para Materiales Eléctricos en Atmósferas con Polvo.*

<i>Modo de Protección para Materiales Eléctricos en Atmósferas con Polvo</i>				
Símbolo Modo	Zonas de aplicación			Definición
	0	1	2	
“tD”	x	x		Materiales eléctricos protegidos por revestimiento y por limitación de la temperatura de superficie, y preparados para ser utilizados en lugares en los que la presencia de polvos combustibles puede alcanzar cantidades susceptibles de engendrar un riesgo de incendio o de explosión. La protección contra la inflamación está basada en la

**Modo de Protección para Materiales Eléctricos en Atmósferas con Polvo**

				limitación de la temperatura máxima de superficie del revestimiento y de otras superficies que puedan estar en contacto con el polvo, y en la limitación de la penetración de polvo en el revestimiento, utilizando revestimientos «estancos al polvo» o «protegidos contra el polvo». La presente norma no es aplicable al material eléctrico destinado para ser utilizado en las partes subterráneas de las minas ni en las partes de las instalaciones de superficie de estas minas, amenazadas por el grisú y/o por polvos combustibles.
<b>“maD”</b>	x	x	x	limitación de la temperatura de superficie con vistas a una utilización en zonas con presencia de polvo combustible en cantidades que puedan provocar riesgos de incendio o de explosión. Tipo de protección en el que las piezas susceptibles de provocar la inflamación de una atmósfera por chispas o calentamiento son encerradas en un compuesto de manera que se evite la inflamación de una capa o de una nube de polvo en condiciones de instalación o de funcionamiento.
<b>“mD”</b>				
<b>“mbD”</b>		x	x	
<b>“iD”</b>	x	x	x	Materiales de seguridad intrínseca previstos para ser utilizados en entornos con nubes o capas de polvo combustibles, y materiales asociados preparados para ser conectados a materiales de seguridad intrínseca que entran en tales entornos. Aplicable a los aparatos eléctricos en los cuales los circuitos eléctricos por ellos mismos son incapaces de causar una explosión en un entorno de polvo combustible.

**Nota:** Se muestra la clasificación del modo de protección para materiales eléctricos en atmósferas con polvo, determinando el símbolo representativo D (polvos), las zonas de aplicación y su respectiva definición. Adaptado de: (ASCO NEUMATICS TM, 2009).

### 3.2.5 Clases de temperaturas

La temperatura máxima de superficie es la temperatura más elevada alcanzada en servicio, en condiciones más desfavorables, en la superficie de un material eléctrico propenso a incitar una inflamación en el área explosiva circundante. Estas se clasifican según la temperatura de superficie y la temperatura de inflamación como se observa en la **Tabla 5**, donde su valor mínimo es de 85° clasificado como (T6) y su valor máximo es de 450° clasificado como (T1).

Tabla 5.

*Clases de temperatura según la directiva ATEX*

<i>Clases de temperatura según la directiva ATEX</i>		
<b>Clasificación de Temperatura</b>	<b>Temperatura máxima de superficie (°C)</b>	<b>Temperatura de inflamación (°C)</b>
<b>T1</b>	450	> 450
<b>T2</b>	300	> 300
<b>T3</b>	200	> 200
<b>T4</b>	135	> 135
<b>T5</b>	100	> 100
<b>T6</b>	85	> 85

**Nota:** La temperatura máxima de superficie es el valor máximo al cual puede llegar el equipo para evitar la infamación del tipo de combustible al cual esta designado a proteger. Adaptado de: (ASCO NEUMATICS TM, 2009).

### 3.2.6 Grupos de elementos explosivos

Los diferentes tipos de elementos explosivos se clasifican en 3 categorías, como se puede observar en la Tabla 6. Las categorías (I, II) son relacionadas a gases y la categoría (III) a polvos y fibras, estos están categorizados en grupos (A, B, C) y determinados rangos de temperatura de inflamación establecidos para identificar el tipo de temperatura en que se encuentra dicho elemento.

**Grupo I:** Material eléctrico destinado a las minas con grisú (trabajos subterráneos de las minas y a las partes de sus instalaciones de superficie).

**Grupo II:** Material eléctrico destinado a lugares sometidos a ambientes explosivos diferentes a las minas de grisú (industrias de superficie).

**Grupo III:** Material destinado para ser utilizado en emplazamientos en los que existe una atmósfera de polvos explosivos, diferentes a las minas de grisú. En el grupo III se subdivide en IIIA (povos combustibles), IIIB (povos no conductores) y IIIC (povos conductores).

Tabla 6.

*Grupos de elementos explosivos categorías (I y II) ATEX.*

<i>Grupos de elementos explosivos categorías (I y II) ATEX</i>									
Grupos	Gas	Temperatura de inflamación (°C)	Clases de temperaturas						
			T1	T2	T3	T4	T5	T6	
I	metano (grisú)	*							
II	A	acetona	540						
		Ácido acético	485						

<i>Grupos de elementos explosivos categorías (I y II) ATEX</i>			
	Amoniaco	630	
	Etano	515	x
	Cloruro de metileno	556	
	Metano (CH <sub>4</sub> )	537	
	Óxido de carbono	605	
	propano	470	
	n-butano	365	x
	n-butil	370	
	n-hexano	240	x
	Acetaldehído	140	x
	Éter etílico	160	
	Nitrito de etilo	90	x
<b>B</b>	Etileno	425	
	Etil óxido	429-440	x
	Hidrógeno sulfurado	270	x
<b>C</b>	Acetileno (C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> )	305	x
	Sulfuro de carbono (CS <sub>2</sub> )	102	
	Hidrógeno (H <sub>2</sub> )	560	

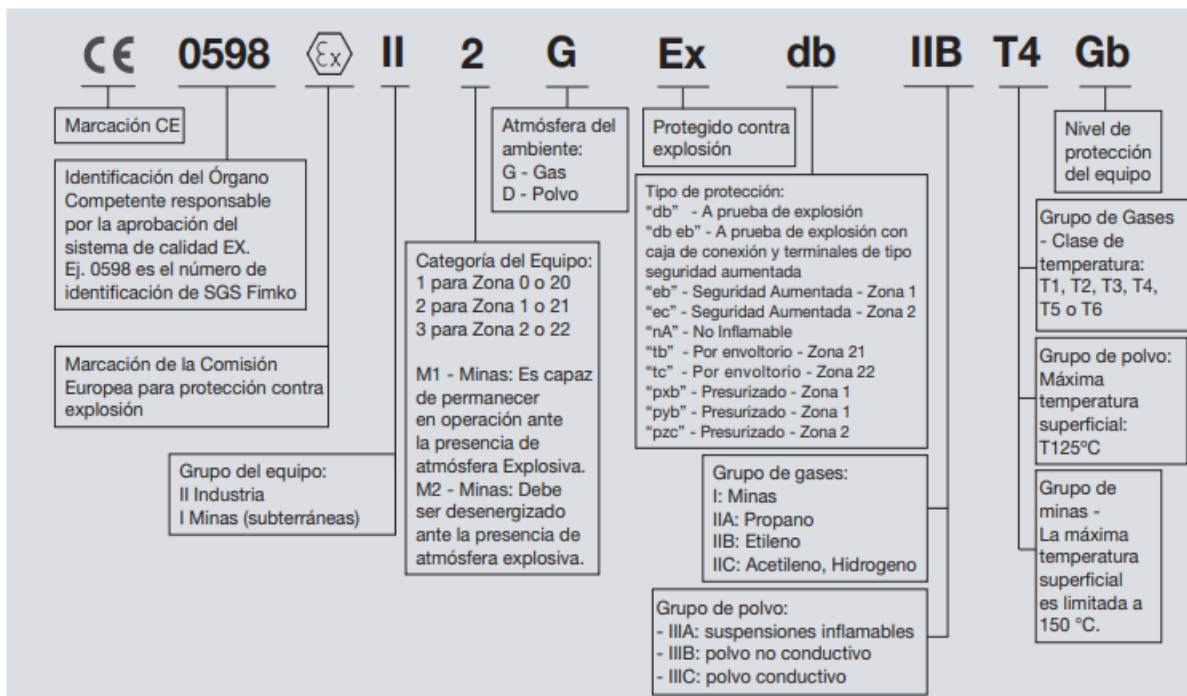
**Nota:** \* Los valores de temperatura Grupo I varían entre 150° y 450° (T4, T1) Dependiendo de los porcentajes de concentración de grisú en la atmosfera explosiva. Esta tabla contiene una lista de gases explosivos con su respectivo valor permisible de temperatura de inflamación. Adaptado de: (ASCO NEUMATICS TM, 2009).

### 3.2.7 Marcación ATEX (Ejemplo)

La marcación es el resumen de los parámetros establecidos para delimitar las condiciones permisibles que cada equipo debe tener para caracterizar la zona en cual se permite trabajar a condiciones óptimas de seguridad, Todo equipo con certificación ATEX debe contar con esta información en la placa como se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Figura 11.

Marcación ATEX (Ejemplo)



### 3.2.8 ATEX Directiva 99/ 92/ CE

Figura 10.

*Emblema ATEX (Zonas)*



Nota. (seguridad industrial y ciudadana , 2014 )

Esta directiva considera como atmósferas peligrosas aquellos lugares donde sea necesario tomar precauciones para proteger la salud y la seguridad de los trabajadores. Las zonas con estas características son representadas por el símbolo de la Figura 10. Se presenta una clasificación dividida en dos partes (Gases y polvos) que a su vez divide cada conjunto según la presencia continua de Gas o de Polvos respectivamente en la zona (ATEX 137, 1999)

### 3.2.9 Clasificación de las áreas de riesgo

Las áreas de riesgo se clasifican en zonas, teniendo en cuenta el tiempo con que se encuentre presente el combustible en el ambiente, clasificados para gases como se muestran a continuación.

**Zona 0:** Área de trabajo en la que una atmósfera explosiva consistente en una mezcla con aire de sustancias inflamables en forma de gas, vapor o niebla está presente de modo permanente, o por un período de tiempo prolongado, o con frecuencia.

**Zona 1:** Área de trabajo en la que es probable, en condiciones normales de explotación, la formación ocasional de una atmósfera explosiva consistente en una mezcla con aire de sustancias inflamables en forma de gas, vapor o niebla.

**Zona 2:** Área de trabajo en la que no es probable, en condiciones normales de explotación, la formación de una atmósfera explosiva consistente en una mezcla con aire de sustancias inflamables en forma de gas, vapor o niebla o en la que, en caso de formarse, dicha atmósfera explosiva sólo permanece durante breves períodos de tiempo.

De manera similar se clasifican las zonas para la presencia de polvos como se muestra a continuación.

**Zona 20:** Área de trabajo en la que una atmósfera explosiva en forma de nube de polvo combustible en el aire está presente de forma permanente, o por un período de tiempo prolongado, o con frecuencia.

**Zona 21:** Área de trabajo en la que es probable la formación ocasional, en condiciones normales de explotación, de una atmósfera explosiva en forma de nube de polvo combustible en el aire.

**Zona 22:** Área de trabajo en la que no es probable, en condiciones normales de explotación, la formación de una atmósfera explosiva en forma de nube de polvo combustible en el aire o en la que, en caso de formarse, dicha atmósfera explosiva sólo permanece durante un breve período de tiempo.

#### **4. Reconocimiento de los elementos característicos que permiten la clasificación y delimitación de las áreas existentes en una mina subterránea.**

Con base en la información recopilada, se inicia la descripción del proceso detallado para la delimitación de las áreas existentes en procesos de minería subterránea, partiendo de las operaciones unitarias que se llevan cabo en este tipo de actividad minera y teniendo en cuenta que sin importar las características de la mina estas actividades son indispensables, se ha decidido designar como punto de referencia para el desarrollo de este capítulo.

Una vez se especifican las etapas de operación para la extracción del mineral se procede a clasificar las zonas con ayuda de la normativa ATEX Directiva 99/92/CE.

##### **4.1 Determinación de áreas por medio de las operaciones unitarias**

Recordando que las operaciones unitarias son seis (preparación, sostenimiento, arranque, cargue, transporte, descargue) se procede a designar las áreas para cada una de las operaciones complementado con el tipo de zona a la que pertenece cada una según la clasificación de la normativa ATEX correspondiente y los límites de concentración de Metano permisibles. A continuación, se hará una breve descripción de los parámetros que se determinaron para clasificar cada área con su zona respectiva según la ATEX y finalmente se presenta en la Tabla 7, el resumen de la clasificación de zonas asignadas para cada una de ellas.

#### **4.1.1 Área “Preparación”**

El ambiente de preparación es el lugar inicial para minería, donde se realiza la perforación en búsqueda del yacimiento del mineral, extrayendo material estéril del macizo rocoso, adaptando el terreno para las instalaciones de la mina. Este material estéril extraído no presenta amenazas de creación de atmósferas explosivas, por ello es posible delimitar esta área según las clasificaciones de la ATEX 137 como una ZONA 2 para gases y ZONA 22 para polvos de carbón, recordando que en condiciones normales de explotación no es probable la formación de atmosferas explosivas durante largos periodos de tiempo.

#### **4.1.2 Área “Sostenimiento”**

En el área donde se lleva a cabo el sistema de sostenimiento, se realizan diferentes actividades mineras entre ellas el sistema de ventilación. A pesar de no ser un área con altas concentraciones de grisú, dado que el mineral no se encuentra presente debido a que no se realizan actividades de perforación, puede estar adyacente a una de estas y tener presencia de Metano, se puede categorizar esta área según la ATEX 137 como ZONA 1 para gases debido a la presencia del material combustible por periodos de tiempo intermitentes en lugares donde no debe aparecer el combustible en condiciones de operación. y ZONA 21 para polvos, por encontrarse pocas probabilidades de concentraciones de polvo de carbón.

### **4.1.3 Área “Arranque”**

La actividad de arranque donde se realiza la perforación para extraer el mineral, Contiene presencia de grisú de manera directa o por periodos de tiempo prolongados duran la perforación, considerándose esta área como la más propensa a riesgos de explosión. Dadas las condiciones anteriores se categoriza según la ATEX 137 como ZONA 0 para gases y ZONA 20 para polvos por presenciar mayor acumulación de este material (polvo de carbón).

### **4.1.4 Área “Cargue”**

En esta actividad se lleva a cabo la acumulación del mineral extraído en un área adyacente a la perforación, por tanto, puede tener concentraciones de grisú. Según la ATEX 137 es posible determinar esta área como ZONA 1 para gases, debido a la presencia de Metano en condiciones normales puede formar ocasionalmente atmósferas explosivas en una mezcla con aire de sustancias inflamables en forma de gas o vapor y ZONA 20 para polvos por presenciar mayor acumulación de este material (polvo de carbón).

### **4.1.5 Área “Transporte”**

En esta actividad se lleva a cabo la movilización del mineral desde el frente de trabajo a la superficie, puede ser posible encontrar presencialidad remota de Gases o polvos provenientes del Grisú, con base en la clasificación de la ATEX 137, el área donde es realizada esta actividad puede clasificarse como ZONA 1 para gases y ZONA 21 para polvos.

#### 4.1.6 Área “Descargue”

Esta actividad hace referencia al sitio de disposición del material extraído de la mina, con el fin de ser vendido o almacenado para su posterior beneficio o uso, el cual se realiza por fuera de la mina lo que lleva a concluir que puede ser categorizada como área a cielo abierto con pocas probabilidades de encontrar presencia de grisú. Dada la anterior justificación es posible clasificar esta área según la ATEX 137 como ZONA 2 para gases y ZONA 20 para polvos por presenciar mayor acumulación de este material (polvo de carbón).

Tabla 7.

*Clasificación de Zonas ATEX en la Minería Subterránea.*

<i>Clasificación de Zonas ATEX en la Minería Subterránea</i>		
<b>Áreas</b>	<b>Clasificación Zona (Gases)</b>	<b>Clasificación Zona (Polvos)</b>
<b>Preparación</b>	2	22
<b>Sostenimiento</b>	1	21
<b>Arranque</b>	0	20
<b>Cargue</b>	1	20
<b>Transporte</b>	1	21
<b>Descargue</b>	2	20

**5. Aplicativo en Excel para la clasificación y delimitación de áreas en una mina a partir de los elementos característicos presentes en cada zona (MinAppEx).**

Figura 11.

*Logo del aplicativo MinAppEx*



En la consulta previa, no se encontró un aplicativo de lo relacionado a la clasificación de áreas explosivas en minería subterránea, por este motivo se plasmó en la herramienta de Excel toda la información recopilada y normativas de este trabajo de grado. Este aplicativo se diseñó de manera interactiva para que el usuario tenga una grata experiencia con la interfaz de la aplicación, con el fin de contribuir de manera responsable en el desarrollo de la minería subterránea de carbón (grisú), permitiendo una mejor formación evitando riesgos de accidentabilidad y mayor vida útil para los equipos eléctricos.

## **5.1 Diseño y programación del aplicativo (MinAppEx)**

El diseño de MinAppEx comprende tres etapas fundamentales, donde se evidencia cada uno de los pasos que se llevaron a cabo para realizar la estructura general de la aplicación, a continuación, se explicará el contenido de cada una de ellas.

### **5.1.1 Elaboración de la base de datos**

En esta sección se digitaliza la información recopilada en tablas según las normas, clasificando con una nomenclatura establecida, para la organización de las hojas de cálculo, vínculos, tablas, enlaces, casillas, etc.

### **5.1.2 Planteamiento de la estructura**

En esta etapa se plantea un diagrama de flujo, para organizar la información de la base de datos y la información que el usuario propone a partir de una lista de opciones predeterminada. Teniendo en cuenta que la situación a identificar es el uso adecuado de equipos eléctricos en una mina, por este motivo se presentan dos opciones o situaciones posibles, la primera de ellas es cuando se tiene un equipo eléctrico y se desea saber si es apto para usar en alguna área de la mina y la segunda opción, cuando se tiene un área de la mina y se quiere saber qué tipo de equipos eléctricos se pueden usar. Por este motivo se decidió dividir la estructura del aplicativo en dos partes organizándolo de la siguiente forma:

- Se crean dos rutas principales denominadas PLACA-AREA y AREA-PLACA, que cumplen con el objetivo y la necesidad del usuario, es decir una ruta tiene como base la información de datos de placa (PLACA), para obtener información sobre el área correspondiente (AREA). La otra ruta parte de un área determinada (AREA) para obtener información acerca de unos datos de placa (PLACA), con requisitos mínimos de uso.

- Las dos rutas mencionadas anteriormente se encuentran a su vez divididas en dos secciones que comprenden los dos tipos de normativa estudiadas, que son la normativa ATEX y la normativa MSHA con su respectiva información y clasificación.

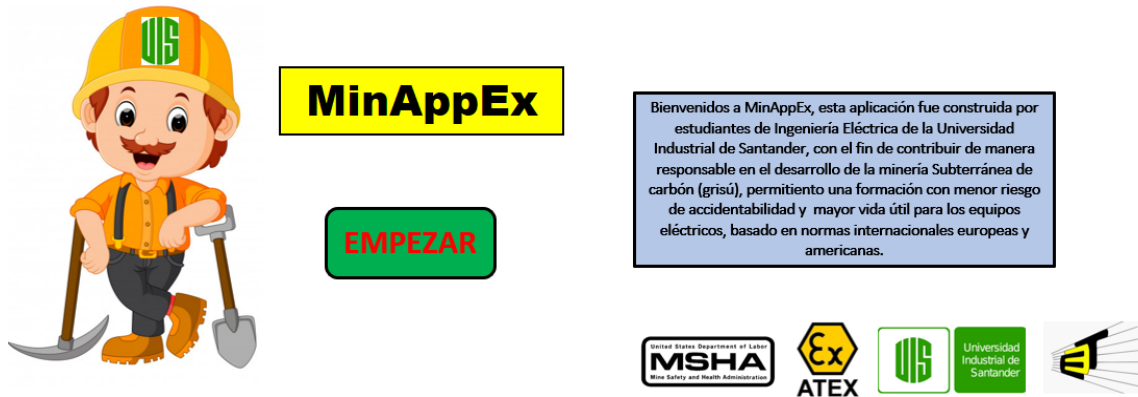
### **5.1.3 Detalles de la interfaz**

La interacción de toda aplicación con el usuario no es del todo exacta, debido a esto se crearon vínculos de información para que la experiencia usuario-aplicación sea más apropiada y completa como, por ejemplo, la información resumida de las áreas predeterminadas en una mina, entre otras.

## **5.2 Guía rápida de MinAppEx**

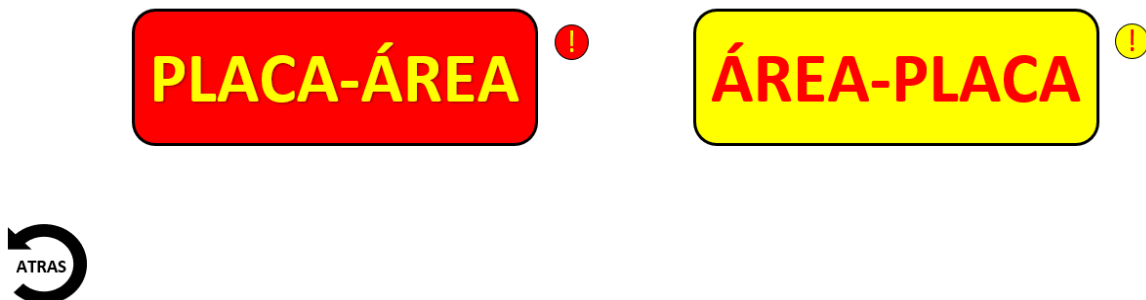
En esta guía se hará una breve explicación del aplicativo, describiendo paso a paso el manejo y uso del mismo, por medio de imágenes y recomendaciones que se debe tener en cuenta para hacer uso correcto de este.

Figura 14.

*Portada MinAppEx*

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se encuentra la portada de la aplicación, el cual consta de un texto de bienvenida y presentación para el usuario, con el botón de “EMPEZAR” se da inicio a la herramienta que le permitirá solucionar sus inquietudes acerca de la minería subterránea.

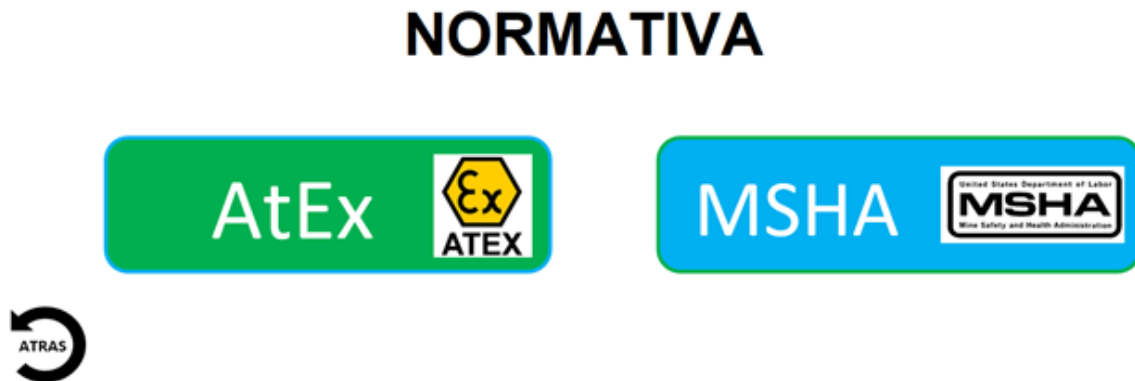
Figura 15.

*Escenarios de aplicación*

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestran los dos tipos de escenarios posibles que la aplicación ofrece, como ya se mencionó anteriormente el usuario solo debe seleccionar cualquiera de las dos rutas dependiente de la información que tenga y donde quiera llegar.

Figura 12.

*Tipo de Normativa*



En la Figura 12 se encuentran los dos tipos de normativa que el usuario puede elegir, es importante resaltar que la elección de la normativa depende de la certificación de placa que tiene el equipo para el primer escenario (PLACA-AREA), de lo contrario será gusto y confiabilidad del usuario elegir la normativa para el segundo escenario (AREA-PLACA).

Figura 17.

*Datos de placa ATEX*

1	MARCACIÓN	CE	2	ENTE CERTIFICADOR	32	3	MARCACIÓN CONTRA EXPLOSIÓN		4	GRUPO:	I
5	CATEGORÍA:	M	6	ATMOSFERA:	1	7	PROTECCIÓN CONTRA EXPLOSIÓN	Ex	8	METODO DE PROTECCIÓN:	ia
9	GRUPO DE SUSTANCIA	I	10	TEMPERATURA:	T4	11	EPL:	Ma			

ATRÁS

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestra un rotulado de placa que debe ser llenado por el usuario con base en los datos de placa del equipo eléctrico, al terminar de introducir la información se oprime el botón “CARGAR” para obtener los resultados del estudio.

Figura 18.

*Resultados placa ATEX*

### INFORMACIÓN BASE

ENTE CERTIFICADOR:	ALEMANIA	32
GRUPO:	MINERÍA SUBTERRÁNEA (GRISÚ)	I
CATEGORIA:	MINERIA	M
ATMÓSFERA:	PRESENCIA DE METANO	1
METODO DE PROTECCIÓN:	SEGURIDAD INTRÍNSECA	ia
TEMPERATURA:	135°	T4
GRUPO DE SUSTANCIA PELIGROSA:	MINERÍA SUBTERRÁNEA (GRISÚ)	I
NIVLES DE PROTECCIÓN DEL MATERIAL (EPL)	EPL MINAS	Ma

### AREAS DETERMINADAS

PREPARACIÓN APLICA


ARRANQUE APLICA

CARGUE APLICA


SOSTENIMIENTO APLICA

TRANSPORTE APLICA

DESCARGUE APLICA



ATRÁS



REINICIAR

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestra la información resultante de los datos insertados en el paso anterior, indicando las posibles áreas de uso que cumple el equipo eléctrico estudiado. En esta imagen finaliza la ruta del estudio de placa con certificación ATEX.

Figura 19.

*Normativa MSHA*

CERTIFICACIÓN MSHA



El Centro de Aprobación y Certificación de MSHA (Administración de seguridad y salud en minas) evalúa una amplia gama de equipos, componentes, instrumentos y materiales de minería presentados por los fabricantes comerciales, para garantizar que cumplan con los estándares gubernamentales para un diseño y construcción seguros. el sello MSHA habilita el uso de este equipo en minería subterránea de carbón.

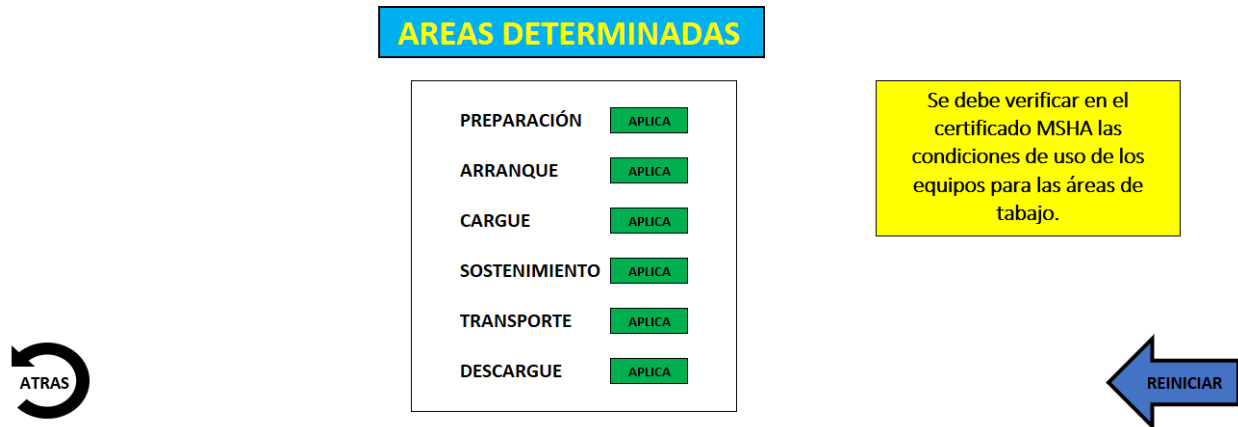
CARGAR



ATRÁS

Regresando a la Figura 12 y tomando la ruta de la normativa MSHA se llega a la **¡Error!** **No se encuentra el origen de la referencia.** mostrando un texto en cual se recalca la importancia de verificar el sello de certificación MSHA, Se oprime el botón “CARGAR” para obtener los resultados.

Figura 20.

*Resultados de placa MSHA*

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestra la información resultante de los datos insertados en el paso anterior, indicando las posibles áreas de uso que cumple el equipo eléctrico estudiado, en esta imagen finaliza la ruta de estudio de la placa con certificación MSHA.

Figura 21.

*Áreas predeterminadas*

Regresando a la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y tomando la ruta de (AREA-PLACA) se llega a la sección de la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** donde se muestran los tipos de áreas clasificadas en la minería subterránea. Es importante tener en cuenta que el resultado está relacionado al área de trabajo elegida. Cualquier área elegida mostrara las opciones de normativa como se observa en la Figura 12.

Figura 22.

Rótulo de placa ATEX

The diagram illustrates the layout of an ATEX plate label. At the top left is the ATEX logo (a yellow hexagon with 'Ex' and 'ATEX' below it). To its right is a blue box labeled 'DATOS DE PLACA'. Below these are 11 numbered fields:

- 1. MARCACIÓN: Yellow box with 'CE' icon.
- 2. ENTE CERTIFICADOR: Yellow box with 'M' icon.
- 3. MARCACIÓN CONTRA EXPLOSIÓN: Yellow box with '----' text.
- 4. GRUPO: Yellow box with 'I' icon.
- 5. CATEGORÍA: Yellow box with 'M' icon.
- 6. ATMÓSFERA: Yellow box with '1' icon.
- 7. PROTECCIÓN CONTRA EXPLOSIÓN: Yellow box with 'Ex' icon.
- 8. METODO DE PROTECCIÓN: Yellow box with 'ia' icon.
- 9. GRUPO DE SUSTANCIA: Yellow box with 'I' icon.
- 10. TEMPERATURA: Yellow box with 'T4' icon.
- 11. EPL: Yellow box with 'Ma' icon.

At the bottom left is a circular arrow icon labeled 'ATRÁS'. At the bottom right is a blue arrow icon labeled 'REINICIAR'. A legend in the top right corner shows a yellow box for 'Varias opciones (ver listado)' and a black box for 'Estándar'.

Luego de seleccionar un área en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, la aplicación muestra los resultados de los datos de placa con los requisitos mínimos que debe cumplir como se ilustra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**. En esta imagen finaliza la ruta de estudio del área con certificación ATEX.

Figura 23.

Certificación MSHA para área clasificada



Regresando a la sección de la Figura 12 y tomando la ruta de normativa MSHA se observa la sección de certificación del área clasificada con dicha norma como se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** finalizando la ruta de estudio del área con certificación MSHA.

Figura 24.

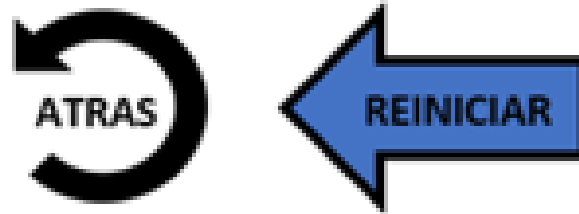
*Botones de ayuda*



En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestra los diferentes botones de ayuda que se crearon con el fin de una mejor interacción del usuario con la aplicación.

Figura 25.

Botón de “ATRÁS” y “REINICIAR”.



En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestran los botones “ATRÁS” y “REINICIAR”, el botón “ATRÁS” lo lleva a la sección anterior, este botón se encuentra en todas las secciones de la aplicación, el botón “REINICIAR” me lleva al inicio de la aplicación y solo aparece en las secciones donde se ha terminado una ruta.

## 6. Conclusiones

Del estudio realizado en este trabajo de grado se puede evidenciar que el RETIE (2013), en el artículo 29.1 del apartado a). especifica que la clasificación de áreas en minería subterránea se debe realizar según el capítulo 5 de la NTC 2050 (1998), pero en conclusión este argumento está mal justificado, debido que los alcances de la NTC 2050 (1998) no incluyen la clasificación de áreas en minería subterránea, por este motivo es importante dejar claro que no es suficiente y adecuada la normativa colombiana para ello se realiza este trabajo de grado, con el fin de aportar información más específica al campo de la minería en el país.

En la actualidad, no todos los equipos están certificados con la normativa adecuada, esto provoca que cuando se realiza la clasificación de áreas resulte información incoherente, por ello

es importante establecer el criterio de norma que se debe plantear para la selección de equipos, de igual forma se hace necesario conocer el tipo de área para el cual un equipo eléctrico se encuentra apto para su funcionamiento.

A partir de este estudio también se puede resaltar que las minas subterráneas tienen las mismas actividades unitarias, pero ninguna mina es físicamente igual a otra, y sus zonas son irregulares y pueden comprender varios tipos de áreas, es por esto que al momento de realizar la clasificación de áreas se da prioridad a la de mayor riesgo de peligro.

Las normas son muy extensas en su contenido, pero el diseño del aplicativo ofrece la información adecuada y concreta de manera rápida y sencilla, donde se puede clasificar las áreas y conocer cierto conjunto de equipos primordiales para la actividad minera.

### Referencias Bibliográficas

- Amstrong y, J. R., & Menon, R. (s.f.). <https://www.insst.es/>. Recuperado el Septiembre de 2020 , de <https://www.insst.es/documents/94886/161971/Cap%C3%ADtulo+74.+Minas+y+canteras>
- Asco Neumatics TM. (2009). *Las zonas- ATMOSFERAS EXPLOSIVAS*. Recuperado el 2020 , de [http://www.asconumatics.eu/images/site/upload/\\_es/pdf1/00129es.pdf](http://www.asconumatics.eu/images/site/upload/_es/pdf1/00129es.pdf)
- ATEX 100. (1994). *Directiva 94/9/CE*. Recuperado el 2020, de <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-1994-80530>
- ATEX 137. (1999). *Directiva 99/92/CE*. Recuperado el 2020, de <https://www.boe.es/doue/2000/023/L00057-00064.pdf>
- Barmatec. (30 de Septiembre de 2016). <https://www.iagua.es/>. Recuperado el Septiembre de 2020 , de <https://www.iagua.es/noticias/espana/barmatec/16/09/30/que-es-certificado-atex>
- energia.gob.* (2020). Recuperado el Septiembre de 2020 , de <https://energia.gob.es/mineria/Seguridad/Guias/Gu%C3%ADas/Guia-control-geotecnico-mineria-subterranea.pdf>
- Equipe ESSS. (17 de Julio de 2017 ). *Esss*. Recuperado el Septiembre de 2020 , de <https://www.esss.co/es/blog/resemin-innova-bajo-tierra-con-el-uso-de-ansys-en-la-creacion-de-equipos-para-mineria-subterranea/>
- IEC 60079-0. (2015). *International Electrotechnical Commission*.

- Leon , & Comarcas . (21 de Diciembre de 2017 ). Recuperado el Septiembre de 2020, de <https://www.leonoticias.com/mineria/produccion-electrica-renovables-20171221111940-nt.html?ref=https://www.google.com/>
- maptek.com. (Marzo de 2018 ). <https://www.maptek.com/>. Recuperado el Septiembre de 2020 , de [https://www.maptek.com/cl/forgemarzo\\_2018/minesuite\\_gestion\\_de\\_pilas\\_de\\_almacenamiento.html](https://www.maptek.com/cl/forgemarzo_2018/minesuite_gestion_de_pilas_de_almacenamiento.html)
- Mettler-Toledo AG. (2014). *Estandares y Normativas de Zonas Peligrosas*. Greifensee-Suiza.
- Ministerio de Minas y Energía. (21 de Septiembre de 2015). *Agencia Nacional Minera*. Obtenido de Decreto 1886 del 2015: <https://www.anm.gov.co/?q=content/decreto-1886-de-2015minminas>
- Ministerio de Minas y Energía-Ministerio del Medio Ambiente. (2002). *Guia Minero Ambiental*. Bogotá: [https://www.anm.gov.co/sites/default/files/normativas/guia\\_mineroambiental](https://www.anm.gov.co/sites/default/files/normativas/guia_mineroambiental).
- MSHA. (2014). *Mine Safety and Health Administration*. Washington DC-EEUU. Recuperado el 2020 , de <https://arlweb.msha.gov/regs/fedreg/final/2014finl/2014-09084.asp>
- NEC 505. (2005). *National Electrical Code*. Estados Unidos. Recuperado el 2020 , de <https://www.linguee.com/english-spanish/translation/national+electric+code+250.html>
- NTC 2050. (1998). *Norma Tecnica Colombiana*. Santafé de Bogotá: INCONTEC. Recuperado el 2020 , de <https://www.linguee.com/english-spanish/translation/national+electric+code+250.html>
- RETIE. (2013). *Reglamento Tecnico de Instalaciones ELéctricas*. Bogota DC: Resolución 90708. Recuperado el 2020, de <https://www.minenergia.gov.co/retie>

seguridad industrial y ciudadana . (20 de Enero de 2014 ). *seguridadindustrial.tesicnor*.

Recuperado el Septiembre de 2020 , de  
<https://seguridadindustrial.tesicnor.com/es/clasificacion-de-zonas-atex-durante-paradas-programadas/>

Unidad de Planeación Minero Energetica. (11 de Agosto de 1998). *Guía Ambiental Minería*

*Subterránea de Carbón*. Obtenido de upme:  
[http://www.upme.gov.co/guia\\_ambiental/carbon/gestion/guias/min\\_sub/contenid/analisis.htm](http://www.upme.gov.co/guia_ambiental/carbon/gestion/guias/min_sub/contenid/analisis.htm)

Universidad Politecnica de Madrid. (2007). <http://oa.upm.es/>. Recuperado el Septiembre de 2020

, de [http://oa.upm.es/21841/1/071101\\_L3\\_labores\\_subterranas\\_2.pdf](http://oa.upm.es/21841/1/071101_L3_labores_subterranas_2.pdf)